

# KETAHANAN DEFORMASI CAMPURAN BERASPAL MODIFIKASI POLIMER HANGAT DENGAN BAHAN ADITIF ZEOLIT ALAM

**Ani Tjitra Handayani**  
Jurusan Teknik Sipil  
STTNAS Yogyakarta  
Jln. Babarsari, Depok  
Yogyakarta  
Ani.citra90@yahoo.co.id

**Bagus Hario Setiaji**  
Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro  
Jln. Hayam Wuruk,  
Semarang  
hsetiadji@yahoo.com

**Sri Prabandiyani R. Wardani**  
Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro  
Jln. Hayam Wuruk,  
Semarang  
ardani\_spr@yahoo.com

## Abstract

Polymer modified asphalt mixture can be developed using warm mix technology by adding the mixture using synthetic or natural additives. This mixture can increase the deformation resistance with lower temperature in the process of mixing and compaction. This study proposes the development of warm Polymer Modified Asphalt mix with natural zeolite, which is natural additives from Bayat (Central Java), and the performance of the mixture, in terms of volumetric and mechanical properties, and deformation resistance, which was evaluated using the Marshall method and wheel tracking test. The results showed that the Polymer Modified Asphalt mix with 1 % of natural zeolite have a Marshall stability greater than that of Polymer Modified Asphalt mix without zeolite. Wheel tracking test at 60 °C shows that Polymer Modified Asphalt mix with 1 % of natural zeolite showed better performance than that without zeolite.

**Keywords:** deformation resistance, warm asphalt mix, polymer modified asphalt, natural zeolite

## Abstrak

Campuran beraspal modifikasi polimer dapat dikembangkan menggunakan teknologi campuran hangat dengan menambahkan campuran dengan bahan aditif sintetis atau alami. Campuran ini dapat meningkatkan ketahanan deformasi dengan temperatur yang lebih rendah dalam proses pencampuran dan pemadatan. Penelitian ini mengusulkan pengembangan campuran beraspal modifikasi polimer hangat dengan menggunakan zeolit alam, yang merupakan aditif alami yang berasal dari Bayat (Jawa Tengah), dan kinerja campuran, dalam hal volumetrik dan sifat mekanik, serta ketahanan deformasi, yang dievaluasi menggunakan metode Marshall dan uji *wheel tracking*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beraspal modifikasi polimer dengan 1 % zeolit alam memiliki stabilitas Marshall lebih besar daripada campuran beraspal modifikasi polimer tanpa zeolit. Pengujian *wheel tracking* pada temperatur 60 °C menunjukkan bahwa campuran beraspal modifikasi polimer dengan 1 % zeolit alam mempunyai kinerja yang lebih baik daripada campuran beraspal modifikasi polimer tanpa zeolit.

**Kata-kata kunci:** ketahanan deformasi, campuran beraspal hangat, aspal modifikasi polimer, zeolit alam

## PENDAHULUAN

Dalam bidang konstruksi perkerasan lentur jalan, kemampuan layan merupakan hal yang signifikan untuk diperhatikan. Salah satu penyebab utama memburuknya kemampuan layan adalah rendahnya daya tahan lapisan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas berat yang sering dihubungkan dengan ketahanan terhadap deformasi permanen.

Penggunaan campuran polimer aspal untuk mendapatkan kualitas aspal yang lebih baik dan memperpanjang masa layan perkerasan semakin meningkat. Jew dan Woodhams (1986) menyatakan bahwa polimer elastomer adalah pengubah yang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan retak pada temperatur rendah pada campuran beton aspal dan dapat memberikan tambahan stabilitas perkerasan pada temperatur tinggi sehingga dapat meminimalkan terjadinya *rutting*. Beberapa penelitian tentang penggunaan aspal polimer elastomer telah banyak dilakukan. Tetapi penelitian yang ada selama ini hanya dilakukan dengan menggunakan teknologi *Hot Mix Aspal*, yang memerlukan temperatur pemanasan sekitar 160 °C. Angka temperatur ini cukup besar, yang berarti diperlukan bahan bakar yang banyak, menghasilkan emisi buang yang besar, dan memerlukan biaya tinggi.

Menurut Hurley dan Prowell (2006) serta Gandhi dan Amirkhainan (2007), *Warm Mix Aspal* (WMA) mengacu pada teknologi yang memungkinkan penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan campuran aspal yang signifikan dengan menambahkan bahan aditif. Teknologi WMA diharapkan dapat menurunkan viskositas aspal yang pada akhirnya berdampak pada penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan, yang secara otomatis akan menurunkan jumlah bahan bakar dan energi yang digunakan.

Indonesia adalah suatu negara dengan cadangan zeolit alam terbesar di dunia dan tersebar hampir di setiap daerah, terutama di Pulau Jawa (Distamben Jabar, 2002 dan Sugih, 2008), dengan jumlah deposit zeolit alam sekitar 400 juta ton. Zeolit alam ini dapat digunakan sebagai bahan tambah karena lebih kompetitif dari segi biaya jika dibandingkan dengan zeolit sintetis yang hanya diproduksi di luar negeri.

Berdasarkan alasan tersebut perlu dilakukan penelitian terhadap campuran beraspal hangat menggunakan aspal modifikasi polimer dengan bahan aditif zeolit alam. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian pengujian di laboratorium untuk mengetahui ketahanan deformasi campuran beraspal hangat yang menggunakan aspal modifikasi dengan bahan aditif zeolit alam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi pengaruh temperatur terhadap campuran beraspal hangat yang menggunakan aspal modifikasi polimer dan bahan aditif zeolit alam Bayat. Secara rinci tujuan penelitian ini adalah:

- a. Mendapatkan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan minimal pada campuran beraspal hangat yang menggunakan bahan ikat aspal polimer dengan bahan aditif zeolit alam.
- b. Membandingkan dan menganalisis kinerja ketahanan deformasi campuran beraspal hangat Lapis Aus (ACWC) yang menggunakan aspal polimer dan bahan aditif zeolit alam dengan menggunakan *Wheel Tracking Test*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian didasarkan pada Standar Spesifikasi Campuran Aspal Panas yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2010. Jika prosedur pengujian yang digunakan belum terdapat pada SNI, pengujian dilakukan dengan mengacu kepada American Society for Testing and Material (ASTM) atau American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Perancangan campuran beraspal hangat menggunakan metode Marshall dan pendekatan kepadatan mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Pengujian laboratorium terhadap ketahanan deformasi menggunakan alat Wheel Tracking pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO). Benda uji yang digunakan mempunyai dimensi (30 x 30 x 5) cm, yang dipadatkan dengan alat pemadat yang sesuai. Kepadatan benda uji harus memenuhi kepadatan yang diperoleh dari analisis Marshall, dengan toleransi sebesar  $\pm 2\%$ . Pengujian dilakukan dengan tekanan permukaan sebesar  $(6,4 \pm 0,15) \text{ kg/cm}^2$ , yang setara dengan beban sumbu tunggal roda ganda sebesar 8,16 ton. Terhadap masing-masing benda uji dilakukan pengujian dengan 1.260 siklus roda dalam satu jam atau dengan 21 siklus (42 lintasan) per menit. Pengujian dilakukan pada temperatur 60 °C, yang dimaksudkan untuk melihat pengaruh temperatur terhadap kinerja campuran.

Material yang digunakan dalam penelitian adalah agregat yang berasal dari Subang, Jawa Barat, dan aspal polimer E-55. Zeolit alam yang digunakan berasal dari Bayat, Jawa Tengah, dalam bentuk *powder* yang lolos saringan No. 400. Cairan HCl juga digunakan untuk melarutkan senyawa pengotor yang terdapat dalam zeolit alam sebelum proses aktivasi. Pada studi ini digunakan Aqua D'Mineral, berupa cairan yang digunakan bersamaan dengan cairan HCl, sebelum proses aktivasi untuk membersihkan zeolit alam dari senyawa pengotor.

## HASIL DAN ANALISIS

Pengujian Agregat dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 1. Berdasarkan hasil-hasil pengujian tersebut disimpulkan bahwa agregat yang digunakan untuk membuat campuran beraspal hangat telah sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.

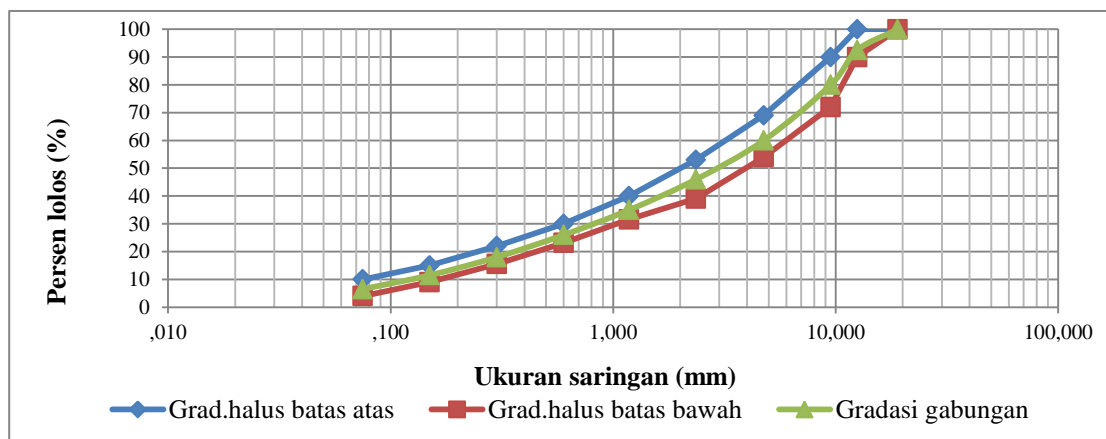
Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap aspal yang digunakan. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa aspal modifikasi polimer ini dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal hangat sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

**Tabel 1** Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1.	Abrasi	SNI 03-2417-2008	17,5	$\leq 40$	%
2.	Berat Jenis				
	<i>Bulk</i>	SNI 03-1969-2008	2,647	$> 2,5$	-
	<i>SSD</i>	&	2,688	2,5	-
	<i>Apparent</i>	SNI 03-1970-2008	2,760	$< 3$	-
3.	Penyerapan	SNI 03-1969 -2008	1,543	$\leq 3$	%
4.	Angularitas	ASTM D 4791-2005	99,9/99,6	$\geq 95/90$	%
5.	Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D 4791-2005	1,0	$\leq 10$	%
6.	Pelapukan	SNI 03-3407-1994	0,3	$\leq 12$	%
7.	Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	0,47	$\leq 1$	%

**Tabel 2** Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1.	Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	61,0	$\geq 60$	%
2.	Berat Jenis				
	<i>Bulk</i>	SNI 03-1969-2008	2,658	$> 2,5$	-
	<i>SSD</i>	&	2,691	2,5	-
	<i>Apparent</i>	SNI 03-1970-2008	2,748	$< 3$	-
3.	Penyerapan	SNI 03-1969 -2008	1,235	$\leq 3$	%
4.	Angularitas	SNI 03-6877-2002	48,50	$\geq 45$	%
5.	Pelapukan	SNI 03-3407-1994	1,8	$\leq 12$	%
6.	Gumpalan lempung	SNI 03-4141-1996	0,40	$\leq 1$	%

**Gambar 1** Gradasi Gabungan Campuran

Pengujian terhadap komposisi kimia dilakukan terhadap zeolit yang digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, yang terdapat pada Tabel 4, terlihat bahwa zeolit yang bersumber dari Bayat mempunyai kandungan Oksida Silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 63,9676 dan kandungan Alumina (Al) sebesar 12,4938. Hal ini mengindikasikan bahwa zeolit Bayat mempunyai rongga yang besar dan dapat menahan serta melepaskan air dengan cepat tanpa merusak struktur kristalnya (Saputra, 2006). Kandungan air sebelum dilakukan aktivasi pada zeolit Bayat sebesar 3,67 %.

**Tabel 3** Hasil Pengujian Mutu Aspal Modifikasi Polimer

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Satuan
1.	Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456 : 2011	61	50-70	0,1 mm
2.	Viskositas pada 135 °C	SNI 06-6441-2000	818	≤2000	cSt
3.	Titik lembek	SNI 06 2434 : 2011	53,5	-	°C
4.	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm / menit	SNI 06-2432 : 2011	> 140	≥100	Cm
5.	Titik nyala ( COC )	SNI 06-2433 : 2011	332	≥232	°C
6.	Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	SNI 06-2438-1991	99,8663	Min. 99	%
7.	Berat jenis	SNI 06-2441 : 2011	1,036	≥1,0	gr/cc
8.	Kehilangan berat ( TFOT )	SNI 06-2440-1991	0,0145	≤2,2	%
9.	Perbedaan titik lembek	ASTM D 5976 part. 6.1	0,2	≤0,8	°C
10.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456 : 2011	85,2	≥54	%
11.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434 : 2011	55,5	-	°C
12.	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432 : 2011	> 140	≥50	Cm
13.	Perkiraan temperatur pencampuran	AASHTO-72-1990	173-179		°C
14.	Perkiraan temperatur pemadatan	AASHTO-72-1990	159 - 165		°C

**Tabel 4** Komposisi Kimia Zeolit Alam Bayat

Unsur Kimia	Zeolit pada Umumnya	Zeolit Bayat
SiO <sub>2</sub>	61,5-73,09	63,9676
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,28-13,22	12,4938
CaO	0,96-2,96	1,2754
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55-4,11	2,0549
K <sub>2</sub> O	0,24-6,17	0,6320
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01-0,11	ttd
TiO <sub>2</sub>	0,55-4,11	0,0698
H <sub>2</sub> O	-	3,67

Catatan: ttd = tidak terdeteksi atau di bawah batas deteksi alat

Pada Tabel 5 terlihat bahwa pengujian menggunakan aktivasi kimia memberikan nilai kadar air zeolit sebesar 18,99 %. Nilai ini mendekati nilai kadar air pada zeolit sintetis, yaitu 20 %. Pada penelitian digunakan aktivasi kimia.

**Tabel 5** Kadar Air Zeolit Berdasarkan Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia

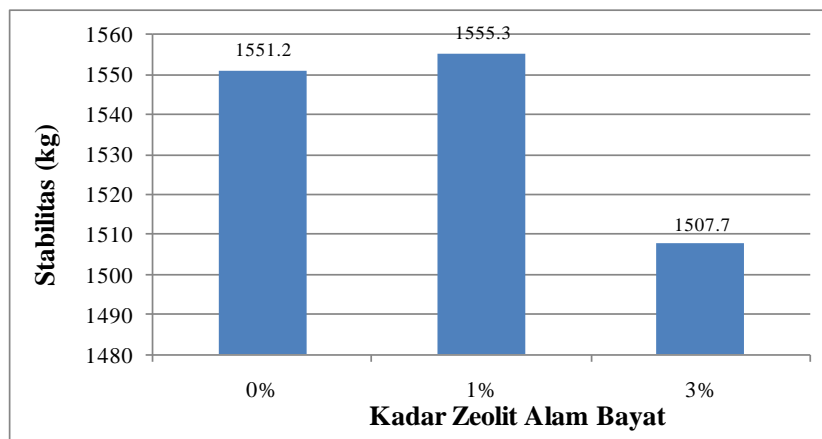
No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
1.	Aktivasi fisika (pemanasan)		
	lolos saringan no. 400	9,29	%
2.	Aktivasi kimia (larutan HCl)		
	lolos saringan no. 400	18,99	%

### Pengujian Marshall

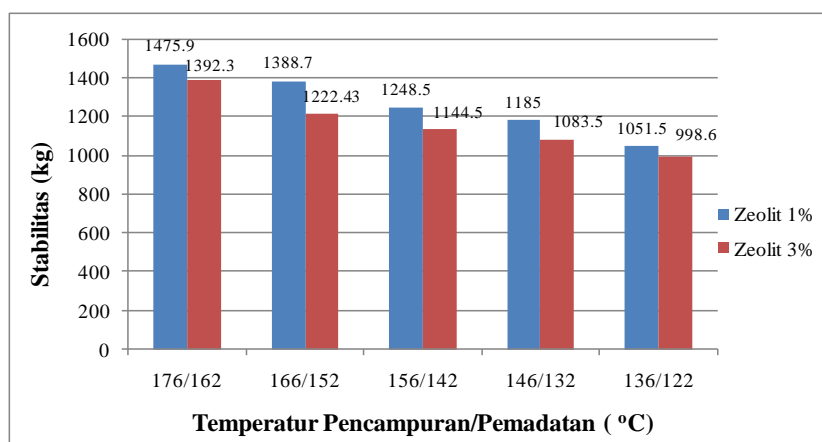
Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengukur kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh suatu pembebanan pada temperatur terendah pada proses pencampuran atau pemadatan. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah gradasi agregat dan kadar aspal. Selain itu stabilitas

dipengaruhi oleh *interlocking*, kohesi, adhesi, dan *internal friction*. Untuk jenis dan gradasi agregat yang sama, stabilitas sangat dipengaruhi oleh jenis aspal yang digunakan, dan jenis aspal ini sangat berkaitan dengan viskositas, yang berpengaruh terhadap kohesi. Nilai stabilitas berdasarkan kadar zeolit campuran dapat dilihat pada Gambar 2 dan nilai stabilitas berdasarkan temperatur pencampuran atau pemadatan dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa nilai stabilitas terbesar pada campuran beraspal polimer terdapat pada campuran dengan kadar zeolit 1 %, yaitu sebesar 1.555,3 kg. Nilai ini lebih besar daripada nilai stabilitas campuran tanpa zeolit alam. Peningkatan stabilitas dapat terjadi karena penambahan zeolit akan membuat butir-butir agregat saling mengunci karena adanya gesekan antar butir dan adanya penambahan volume penyelimutan aspal yang diberikan oleh fungsi zeolit pada saat pemanasan proses pencampuran. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai stabilitas berdasarkan variasi temperatur pencampuran dan pemadatan sampai dengan temperatur pencampuran atau pemadatan 146 °C dan 132 °C saja yang masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010.

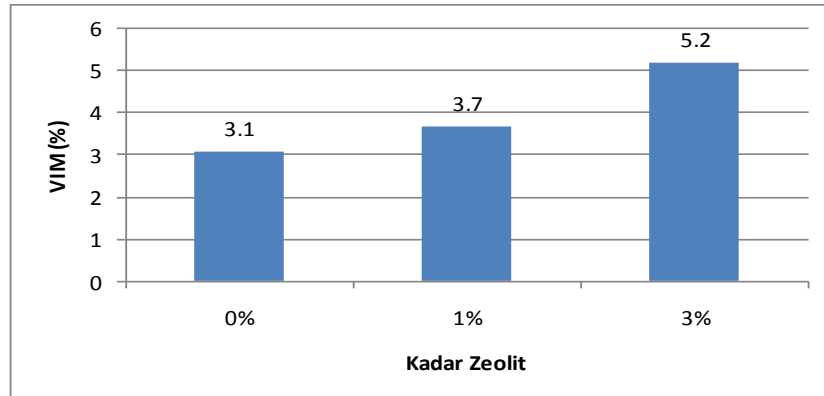


**Gambar 2** Stabilitas Berdasarkan Kadar Zeolit Alam



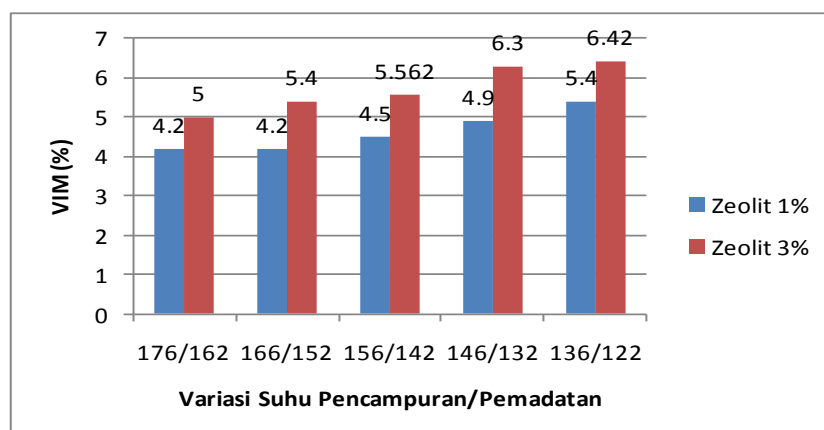
**Gambar 3** Nilai Stabilitas Berdasarkan Temperatur Pencampuran atau Pemadatan

Nilai *Voids in Mix* (*VIM*), yang umumnya dikaitkan dengan durabilitas atau keawetan campuran, menunjukkan persentase rongga udara antar butir agregat terbungkus aspal. Nilai *VIM* diperlukan oleh campuran untuk memberikan cukup ruang bagi pemadatan akibat beban lalu lintas dan pengaruh peningkatan temperatur.



**Gambar 4** Nilai VIM Berdasarkan Kadar Zeolit Alam Bayat

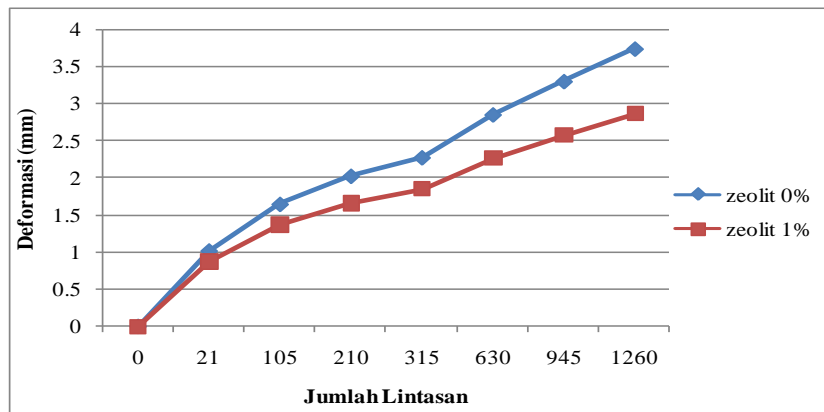
Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai *VIM* tertinggi yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga adalah campuran dengan kadar zeolit 1 % dengan temperatur pencampuran dan pemadatan 146 °C dan 132 °C. Peningkatan *VIM* juga terjadi karena adanya pelepasan air dari zeolit pada saat pencampuran. Aspal dan agregat pada temperatur tinggi akan menyebabkan zeolit seketika melepaskan kandungan air. Air yang terlepas menyebabkan volume aspal bertambah karena adanya busa aspal, yang menandakan viskositas aspal menurun dengan cepat dan volume aspal berkembang mencapai 30 % kali lebih besar.



**Gambar 5** Nilai VIM Berdasarkan Variasi Temperatur Pencampuran atau Pemadatan

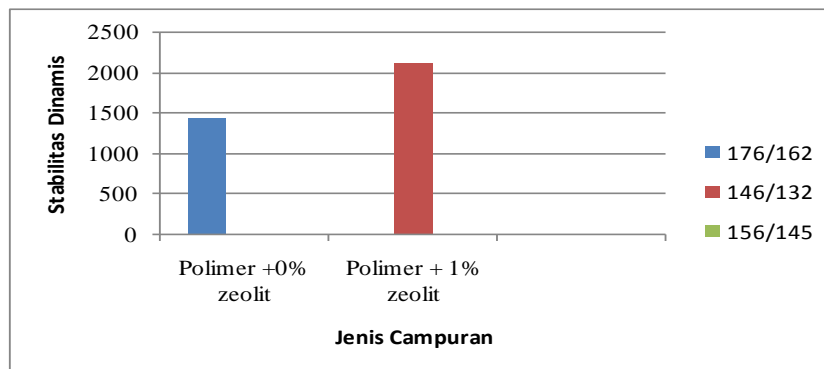
### Pengujian *Wheel Tracking*

Pengujian deformasi dengan alat *Wheel Tracking* (WTM) ditunjukkan untuk menstimulasi deformasi yang terjadi akibat lintasan kendaraan. Pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 dapat dilihat hasil perbandingan kecepatan deformasi terhadap dua jenis campuran, yaitu campuran beraspal polimer tanpa zeolit yang diproses pada temperatur pencampuran atau pemadatan sebesar 176 °C dan 162 °C dan campuran beraspal polimer dengan kadar zeolit alam 1 % yang diproses pada temperatur pencampuran atau pemadatan 146 °C dan 132 °C.



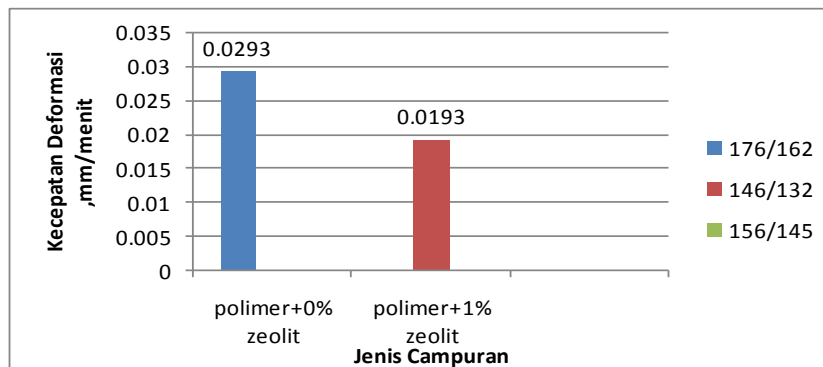
**Gambar 6** Ketahanan Deformasi Menggunakan WTM

Hasil pengujian *Wheel Tracking* terhadap dua jenis campuran menunjukkan bahwa campuran yang mengandung zeolit alam mengalami stabilitas dinamis 2.127,4 lintasan/mm lebih besar dengan nilai kecepatan deformasi paling kecil sebesar 0,0193 mm/menit. Hal ini disebabkan karena kandungan zeolit alam dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas Marshall yang pada akhirnya juga akan menyebabkan terjadinya deformasi yang lebih kecil. Sedangkan campuran tanpa zeolit alam mengalami hal sebaliknya, dengan memiliki stabilitas dinamis 1.431,8 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi sebesar 0,0293 mm/menit.



**Gambar 7** Nilai Stabilitas Dinamis Campuran





**Gambar 8** Kecepatan Deformasi Masing-Masing Campuran

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Zeolit alam yang berasal dari Bayat mempunyai potensi sebagai bahan aditif pada campuran beraspal hangat, yang dapat menurunkan temperatur pencampuran dan pemadatan sebesar 30 °C lebih rendah daripada campuran beraspal panas.
2. Campuran beraspal polimer dengan kadar zeolit 1 % memiliki stabilitas dinamis 2.127,4 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi paling kecil sebesar 0,0193 mm/menit untuk temperatur 60 °C. Sedangkan campuran beraspal polimer tanpa zeolit alam memiliki stabilitas dinamis 1.431,8 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi sebesar 0,0293 mm/menit. Hal ini dipengaruhi oleh kadar aspal yang sedikit sehingga mampu menahan repetisi beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Asociation of State Highway and Transportation Officials. 2004. *Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moistture-Induced Damage Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing*. AASHTO T283-03. Washington, D.C.
- American Asociation of State Highway and Transportation Officials. 2004. *Determining the Fatigue Life of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending Standard Specification for Transportation Material and Methods of Sampling and Test*. AASHTO T321. Washington, D.C.
- American Society for Testing and Material. 2003. *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures*. ASTM D 1075-94.
- American Society for Testing and Material. 2003. *Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilien Modulus of Bituminous Mixtures*. ASTM D 4123-82.

- American Society for Testing and Material. 2003. *Standar Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design*. ASTM D 7064-04.
- Badan Penelitian dan Pengembangan. 2010. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Dinas Pertambangan dan Energi (Distamben) Provinsi Jawa Barat. 2002. *Sebaran Zeolit di Jawa Barat*. Bandung.
- Gandhi, T. dan Amirkhainan, S. 2007. *Laboratory Investigation of Warm Asphalt Binder Properties—A Preliminary Investigation*. MAIREPAV 5 Proceedings, (5): 475-480. Park City, UT.
- Hurley, G. dan Prowell, B.D. 2006. *Evaluation of Potential Processes for Use in Warm Mix Asphalt*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, (75): 41-90.
- Hurley, G. C. and Prowell, B. D. 2009. *Evaluation of Aspha-Min Zeolite for Use in Warm-mix Asphalt*. NCAT Report 05-04. National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL.